Journal of the Korean Chemical Society
1995, Vol. 39, No. 12
Printed in the Republic of Korea

고성능 액체 크로마토그래피의 간접 분광광도법에 의한 THM과 PCB의 분석

鄭龍淳 · 李康禹
충북대학교 자연과학대학 화학과
(1995. 7. 14 접수)

Analysis of THMs and PCBs by Indirect Photometric Method in High Performance Liquid Chromatography

Yongsoon Chung and Kangwoo Lee
Department of Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea
(Received July 14, 1995)

요 약. *p*-니트로페놀을 용리액에 첨가하고 THM과 PCB를 Novapak ODS관과 μ-Bondapak 페닐관으로 용리시켜 분리 및 분석하였다. 사용한 THM은 $CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ 및 $CHBr_3$였고, PCB는 Aroclor 1221, 1242, 1248, α- 및 β-BHC였다. THM과 PCB의 정지상에의 머무름과 검출감도는 시료와 정지상 또는 시료와 용리액에 첨가한 *p*-니트로페놀과의 상호작용에 의존되었다. THM은 1.0×10^{-4} M *p*-니트로페놀을 용해시킨 메탄올-물(30 : 70) 용리액을 사용하여 ODS관으로, PCB는 아세트니트릴-물(50 : 50) 용리액을 사용하여 페닐관으로 용리시킴에 의하여 몇 가지를 분리 및 분석할 수 있었다. THM의 검출한계는 1.0×10^{-4} g으로부터 1.0×10^{-6} g였고, PCB 중 Aroclor들의 검출한계는 2.0×10^{-6} g, α-와 β-BHC는 각각 2.0×10^{-4} g과 1.0×10^{-4} g였다.

ABSTRACT. THMs and PCBs were separated and analysed with elution on Novapak ODS or μ-Bondapak phenyl column by an eluent containing *p*-nitrophenol (*p*-NP). THMs studied were $CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$, and $CHBr_3$, and PCBs used were Aroclor 1221, 1242, 1248, α- and β-BHC. It was thought that the retention on the stationary phase and sensitivities of the samples are related to the interaction between the sample and stationary phase or *p*-NP. THMs were separated completely on the ODS column by elution with MeOH-water (30 : 70) containing 1.0×10^{-4} M *p*-NP and some of PCBs were separated on the phenyl column by elution with CH_3CN-water(50 : 50) containing 1.0×10^{-4} M *p*-NP. Detection limits of THMs were from 1.0×10^{-4} g to 1.0×10^{-6} g, Aroclors were 2.0×10^{-6} g, and α- and β- BHC were 2.0×10^{-4} g and 1.0×10^{-4} g respectively.

서 론

자외선-가시선 비흡수 물질이면서 비이온성인 화합물들의 역상 액체 크로마토그래피에 의한 분리 및 분석은 자외선-가시선 흡수 물질을 용리액에 첨가하여 용리시킴으로써 분리하고, 첨가된 자외선-가시선 흡수 검출시약에 의하여 나타나는 봉우리의 흡광도 변화를 자외선-가시선 검출기로 측정하는 간접 분광광도법이 굴절계를 이용하여 정량하는 방법에 비하여 잇점이 있다.[1~3] 이 방법은 용매의 소모가 적고 온도의 변화를 적게 받는다. 두개의 시스템 봉우리(*Fig.* 2와 3)가 나타난다는 단점은 검출시약을 적당한 것으로 택하면 이들이 시료의 봉우리를 방해하지 않게 할 수 있다.

자외선-가시선 비흡수 물질을 액체 크로마토그래피의 간접 분광광도법으로 분석한 예는 다음과 같다. Parkin[1]은 benzamide를 검출시약으로 사용하여 용

리액에 첨가하고 분자량이 작은 알코올, 에테르 및 에스테르를 ODS관으로 용리시켜 분리하였는데, 분자량이 비교적 큰 알코올과 에스테르는 용리액에 *n*-propyl-*p*-aminobenzoate를 첨가하는 것이 효과적이라고 하였다. 그는 또한 방향족 에스테르를 용리액에 첨가하여 알데히드들과 케톤들을 분리하였으며 선택성도 조사하였다.[2] Takeuchi와 그의 공동 연구자들은 안트라센을 MeOH-물 용리액에 첨가하여 지방족 알코올을 용리시키고 형광 검출기를 사용하여 크로마토그램을 얻는 분석방법을 보고하였다.[3]

또한 Banerjee와 그의 공동 연구자들은 톨루엔을 포화시킨 MeOH-물(20 : 80) 용리액으로 염화메틸렌과 아세트산에틸을 ODS관을 통하여 용리시켜 분리하면서 용리 거동을 톨루엔의 용매에 대한 용해도 현상으로 설명하였다.[4] Banerjee와 Castrogivanni는 *p*-terphenyl로 포화된 용리액으로 ODS관을 통과시켜 사슬모양 탄화수소를 분리 및 정량하였다.[5]

한편, MeOH-H_2O(85 : 15) 용리액에 메틸렌불루를 1.0×10^{-4} M되게 첨가하고 Whatman Porasil-5 ODS관으로 작은 분자량의 알코올과 케톤[6,7] 및 단당류[8]를 용리시켜 가시선 분광광도계의 651 nm에서 분석한 연구는 Gnanasambandan과 Freiser에 의하여 수행되었다. 지방족 유기산과 알코올, 테트라-알킬 암모늄염 등의 여러가지 자외선-가시선 비흡수 화합물들을 *m*-니트로페놀이 1.0×10^{-4} M되게 검출시약으로 첨가된 용리액을 사용하여 ODS관으로 용리시켜 각 종류별로 분리 및 정량한 연구는 Kang과 그의 공동 연구자들에 의하여 수행되었다.[9] 이 때 사용한 분석 파장은 254 nm였다.

상수원이나 수영장에서 염소 소독을 할 때 생성되고, 세척제, 용매 및 유량계 등에 사용되는 트리할로메탄(THMs),[10] 그리고 농약으로 사용되었던 BHC는 비이온성이고 비흡광성 물질이다. PCB[12]는 자외선-가시선 흡광성 물질이나 접착제와 전기 기구의 절연체 및 종이 제조에 사용되며 비이온성의 환경 공해 물질이다. 본 연구의 목적은 고성능 액체 크로마토그래피에서 간접 분광광도법으로 이들 시료의 용리거동을 관찰하면서 발견되는 적합한 분리 조건에서 이들 시료들을 분석하는 것이었다. 전자포획검출기를 사용할때 1 ng 이하까지도 분석이 가능한 GC보다 감도는 떨어진다 할지라도 시료의 양이 많을 경우(본 실험에서의 검출한계는 1~100 μg)의 분석에는 시간의 절약과 정확성이 있다고 생각하였다. 또한, 액체 크로마토그래피의 용리현상 관찰에도 의미를 두었다. 이들 시료의 봉우리를 얻기 위하여 용리액에 첨가한 자외선 흡광 물질(검출시약)은 *p*-니트로페놀과 *p*-니트로톨루엔이었다.

실 험

시 약. CH_2Cl_2, $CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ 및 $CHBr_3$ 등은 영국의 Lancaster Research Chemical Co. 제품, *p*-니트로페놀(*p*-NP)과 *p*-니트로톨루엔(*p*-NT)은 미국의 Aldrich Chemical Co. 제품의 특급 시약으로 정제하지 않고 그대로 사용하였다. α- 및 β-BHC, Aroclor 1221, 1242, 1248 등의 폴리클로리네이트비페닐(PCBs)은 미국의 Supelco Chemical Co.에서 메탄올에 200 ppm되게 제조하여 판매하는 표준용액을 사용하였다.

이동상에 일정 농도로 첨가한 유기 용매인 메탄올(MeOH)과 아세토니트릴(CH_3CN)은 Mallinckrodt 제품의 HPLC용이었고, 물은 1차 증류하여 Waters Millipore 순수 제조장치를 통과시킨 탈이온수를 사용하였다.

측정 기기 및 기구. 본 실험에 사용한 고성능 액체 크로마토그래프(HPLC)는 Model 510 dual pump, Model U6K 주입기, Model 441 자외선-가시선 검출기, 그리고 Model 740 기록기로 장치된 Waters Associate사 제품의 Model 206이었다. 분리관은 Waters사 제품의 Novapak ODS관(입자 크기 4 μm, 내경 3.9 mm, 길이 15 cm)과 μ-Bondapak 패널관(입자 크기 10 μm, 내경 3.9 mm, 길이 30 cm)을 사용하였다.

실험방법. 유기 용매와 물을 일정한 부피비로 섞어 일정한 농도로 만든 다음 초음파 세척기에 넣고 용액속에 녹아있는 공기를 제거하고, 0.45 μm Millipore 여과지로 흡인 여과한 후, 검출시약을 이 용매에 일정한 농도로 용해시켜 용리액으로 사용하였다.

분리관에 시료를 주입하기 전에 이동상을 1시간 정도 흘려주어 이동상과 분리관 사이에 평형이 되도록 하였다. 평형이 이루어져야만 바탕선이 일정하

게 되고, 각 시료의 머무름 시간도 일정하기 때문이다. 이동상의 유속은 1.0 mL/min으로 고정하여 실험하였고, 시료는 50% MeOH 용액에 10 ppm에서부터 1,000 ppm이 되게 시료에 따라 용해시켜 20 μL씩 주입하였다. 시료의 검출 파장은 254 nm를 사용하였다.

시료의 용리거동 설명에 사용한 용량인자(k')는 다음 식으로 계산하였다.

$$k' = \frac{t_r - t_o}{t_o}$$

여기에서 t_r은 시료의 머무름 시간이고, t_o는 이동상의 머무름 시간이다. k'를 토대로 분리될 수 있는 시료들을 혼합하여 알맞은 조건의 용리액으로 용리시켜 분리 크로마토그램을 얻었다.

THM과 PCB의 분리. k'값을 측정함에 의한 ODS관과 캐널관에서의 THM과 PCB의 용리현상을 관찰하면서 발견한 최적 조건에서 THM과 PCB를 분리하였다.

결과 및 고찰

프론탈 크로마토그램. 용리액에 용해시킨 검출시약이 분리관을 용리하면서 흡착 평형을 이루는데 소요되는 시간을 알아보기 위하여 프론탈 크로마토그램(frontal chromatogram)을 작성하였다. 용리액에 첨가하여 녹인 p-NP이 ODS관을 용리하여 나오는 관류 시간(break through time)을 p-NP의 농도가 3.0×10^{-4} M인 용리액에서 MeOH의 농도를 30%(v/v)으로부터 40%까지 변화시키면서 그려진 프론탈 크로마토그램은 *Fig.* 1에 나타내었다. MeOH의 농도가 30%에서 40%로 증가할수록 관류시간은 13.7분으로부터 2.5분까지 작아짐을 볼 수 있다. 그 이유는 메탄올의 농도가 증가할수록 시료와 정지상간의 인력이 작아지기 때문이다. 검출시약이 p-NP인 경우 흡착 평형에 도달되는 시간은 20분이었다. 한편, 용리액으로 p-NT을 1.0×10^{-4} M로 첨가시킨 40% MeOH 용액을 사용하였을 경우 p-NT의 관류 시간은 30분, 흡착 평형에 도달되는 시간은 1시간이었다. 이것은 p-NT이 p-NP보다 더 비극성이므로 비극성 정지상에 대한 흡착이 더 크기 때문이다.

THM의 감도. p-NP과 p-NT이 각각 1.0×10^{-4} M가 되도록 MeOH-물(40 : 60) 용액에 녹인 것을 용리액으로 하고, $CHBr_3$를 주입기에 20 μL 주입한 후 ODS관으로 용리시켰을 때의 크로마토그램은 *Fig.* 2에, $CHCl_3$, $CHBrCl_2$, $CHBr_2Cl$ 및 $CHBr_3$를 주입기에 각각 주입한 다음 p-NP을 *Fig.* 2를 얻은 실험조건과 같이 첨가한 이동상으로 각각을 용리시켰을 때의 크로마토그램은 *Fig.* 3에 나타내었다. *Fig.* 2에서는 두개의 시스템 봉우리(하나는 용매, 다른 하나는 검출시약)와 $CHBr_3$의 봉우리를 확인할 수 있다. p-NP를 검출시약으로 사용할 때는 p-NT를 검출시약으로 사용할 때보다 검출시약의 봉우리가 먼저 나타나고 $CHBr_3$의 감도는 더 양호하다. 이것은 p-NT이 p-NP보다 정지상에 대한 흡착력이 크기 때문인데 프론탈 크로마토그래피에서의 관류점 크기 순서와 일치한다. p-NP의 봉우리는 $CHBr_3$의 봉우리뿐만 아니라 THM 중 가장 k'값이 작은 $CHCl_3$의 봉우리보다도 빨리 용출된다(*Fig.* 3).

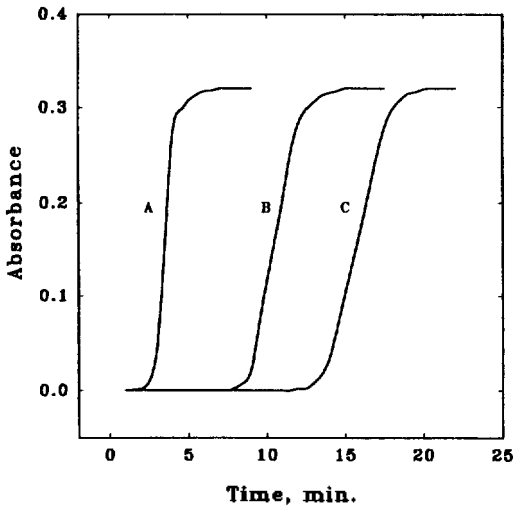

Fig. 1. Frontal Chromatograms of the p-NP on the ODS column. Mobile phase: MeOH-H_2O (A, 40 : 60; B, 35 : 65; C, 30 : 70) containing 3.0×10^{-4} M p-NP; Detection: 254 nm; Flow rate: 1.0 mL/min.

$CHCl_3$는 2.0×10^{-4} g, 그 외의 THM들은 각각 2.0×10^{-5} g씩을 주입하고 p-NP을 1.0×10^{-4} M되게 용해시킨 MeOH-물(40 : 60) 용리액으로 용리시켰을 때의 크로마토그램에서 k'값의 크기 순서와 봉우리의 크기 정도가 다 같이 $CHCl_3$<$CHBrCl_2$<$CHBr_2Cl$<$CHBr_3$로 증가하고, $CHCl_3$는 (−)의 봉우리로 나타난다. 이것은 Cl 원자가 많은 THM일수록 극성이

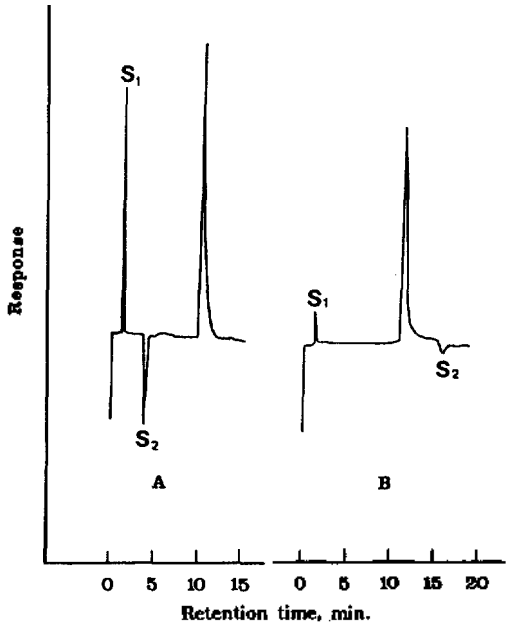

Fig. 2. Effect of detection reagent on the sensitivity of $CHBr_3$ (2×10^{-5} g). S1 and S2: system peaks; Mobile phase: MeOH-H_2O (40 : 60) containing 1.0×10^{-4} M detection reagent (A: *p*-NP, B: *p*-NT); Column: ODS.

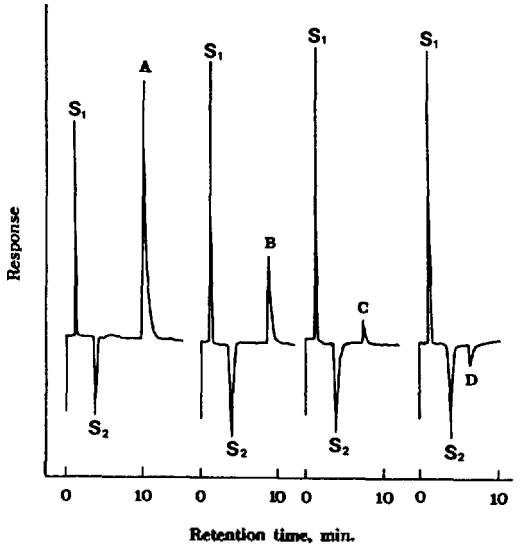

Fig. 3. Chromatograms of THMs on ODS column. A: $CHBr_3$ (2×10^{-5} g), B: $CHBr_2Cl$ (2×10^{-5} g), C: $CHBrCl_2$ (2×10^{-5} g), D: $CHCl_3$ (2×10^{-4} g), S1 and S2: system peaks; Mobile phase: MeOH-H_2O (40 : 60) containing 1.0×10^{-4} M *p*-NP.

Table 1. Effect of MeOH percentage on the log*k'* of THMs and detection limit

THMs	MeOH, %(v/v)			D.L.,[a] g
	30	35	40	
CH_2Cl_2	0.571	0.501	0.417	2.0×10^{-6}
$CHCl_3$	1.050	0.954	0.831	1.0×10^{-4}
$CHBrCl_2$	1.146	1.028	0.927	1.0×10^{-5}
$CHBr_2Cl$	1.239	1.110	0.993	3.0×10^{-6}
$CHBr_3$	1.327	1.187	1.050	1.0×10^{-6}

Mobile phase: MeOH-H_2O containing 3.0×10^{-4} M *p*-NP, Column: ODS, Detection: 254 nm, Flow rate: 1.0 mL/min. [a]D.L.: Detetion limit (S/N=3).

크고 검출시약인 *p*-NP과 상호작용이 잘되어 정지상 표면에 함께 흡착되는 것이라 생각되었다. 간접 분광광도법은 시료가 정지상 위에 흡착되어 있는 검출시약을 밀어낸 정도에 의하여 봉우리의 크기가 달라지므로써 검출한계가 달라진다. 극성이 큰 시료(예 $CHCl_3$)는 비극성 정지상에 대한 인력이 작고 오히려 *p*-NP에 대한 인력이 크므로 검출한계가 작고, 극성이 작은 시료(예 $CHBr_3$)는 정지상에 대한 인력이 크므로 정지상 위의 *p*-NP을 잘 밀어냄으로 검출한계(D. L.)가 낮아지는 것이라 생각된다.

검출한계는 S/N비가 3이 되는 농도로 계산되었으며, 1.0×10^{-4} g으로부터 1.0×10^{-6} g까지 $CHCl_3$<$CHBrCl_2$<$CHBr_2Cl$<$CHBr_3$ 순으로 증가하였다. THM의 검출한계는 THM이 각각 2.0×10^{-4} g으로부터 2.0×10^{-5} g 주입된 결과의 크로마토그램인 *Fig.* 3에서 알 수 있듯이 $CHCl_3$가 1.0×10^{-4} g, $CHBrCl_2$가 1.0×10^{-5} g, $CHBr_2Cl$이 3.0×10^{-6} g, $CHBr_3$가 1.0×10^{-6} g이었다(*Table* 1).

본 실험의 용리액에서 검출시약인 *p*-NP의 농도를 1.0×10^{-4} M로 고정하여 실험한 이유는 *p*-NP의 농도가 묽은 경우에 오히려 THM과 PCB의 감도가 양호하였고, 이 농도가 흡광도 0.4 정도의 바탕선을 나타내는 농도였기 때문이다.

THM과 PCB의 *k'*에 대한 유기용매 농도의 영향. *p*-NP이 1.0×10^{-4} M로 용해되어 있는 이동상의 MeOH 농도를 30%로부터 40%까지 변화시키면서 ODS관을 통하여 THM을 용리시켜 얻은 *k'*값들을 *Table* 1에 나타내었다.

Table 2. Effect of CH_3CN percentage on the log k' of aroclors by ODS column[a]

Aroclors		CH_3CN, %(v/v)			D.L., g
No.	Peak No.	50	60	70	
1221	1	1.110(0.694)[b]	0.754(0.345)[b]	0.501	2.0×10^{-6}
	2	1.232(0.782)	0.865(0.469)	0.571	
	3	1.380(0.820)	0.993(0.537)	0.684	
	4	1.521(0.903)	1.101(0.622)	0.774	
	5	1.641(1.008)	1.202(−)	0.875	
	6	− (1.035)	− (−)	1.005	
	7	− (−)	− (−)	1.217	
1242	1	0.505(0.153)	0.248(0.003)	0.086	2.0×10^{-6}
	2	0.753(0.307)	0.699(0.083)	0.501	
	3	1.246(0.407)	0.881(0.240)	0.571	
	4	1.297(0.772)	1.005(0.420)	0.684	
	5	1.390(0.820)	1.120(0.462)	0.794	
	6	1.502(1.900)	1.217(0.477)	0.881	
	7	1.528(0.932)	1.291(0.566)	0.941	
	8	1.585(1.005)	1.321(0.656)	0.980	
	9	1.652(1.029)	1.360(0.757)	1.005	
	10	− (1.134)	1.400(−)	1.050	
	11	− (1.248)	1.494(−)	1.128	
	12	− (−)	1.552(−)	1.179	
	13	− (−)	1.597(−)	1.232	
	14	− (−)	− (−)	1.338	
1248	1	− (0.900)	1.110(0.524)	0.501	2.0×10^{-6}
	2	− (0.935)	1.155(0.566)	0.571	
	3	− (0.961)	1.210(0.616)	0.708	
	4	− (1.002)	1.291(0.690)	0.813	
	5	− (1.024)	1.321(0.730)	0.881	
	6	− (1.085)	1.373(0.767)	0.954	
	7	− (1.117)	1.395(0.822)	0.993	
	8	− (1.129)	1.487(−)	1.017	
	9	− (1.241)	1.524(−)	1.057	
	10	− (−)	1.545(−)	1.137	
	11	− (−)	1.591(−)	1.187	
	12	− (−)	1.603(−)	1.239	
	13	− (−)	− (−)	1.355	
	14	− (−)	− (−)	1.409	
α-BHC		0.250	0.249	0.250	2.0×10^{-4}
β-BHC		0.452	0.451	0.450	1.0×10^{-4}

[a]Detection: 254 nm, Flow rate: 1.0 mL/min., D.L.: Detection limit. [b]Values in brackets are logk' on the phenyl column.

한편, 몇 가지 PCB를 p-NP이 1.0×10^{-4} M되게 용해된 CH_3CN-물(50 : 50으로부터 70 : 30까지) 이동상을 사용하여 ODS관과 페닐관으로 용리시켜 각각의 크로마토그램을 얻고, 용리거동을 조사하였다. *Table* 2에 나타낸 바와 같이 이동상 중 CH_3CN 농도가 증가될수록 각각의 성분들의 k'값은 감소하였고, 각 PCB별로 많은 동족체와 이성체가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 Aroclor 번호의 마지막 두 숫자는 시료 중 염소의 무게 퍼센트를 의미하는데, 염소의 함량 퍼센트가 많을 수록 각 성분들은 큰 k'값들을 가지고 용리되었다. *Fig.* 4는 Aroclor 1242의 각 성분 봉우리가 용리액 중 CH_3CN의 퍼센트(v/v) 농도 변화에 대하여 어떻게 변화하는지를 알아본 것이다. 이동상 중 CH_3CN의 퍼센트 농도가 증가할수록 각 성분들의 k'값은 감소하였다. 봉우리들 중 2번 봉우리는 CH_3CN 농도 변화에 대하여 logk'값의 변화 정도가 다른 성분과 달랐으나 다른 봉우리들은 성분별로 그 작아지는 효과는 일정하였고, 크로마토그램의 모양도 일정하였다. 다른 Aroclor는 CH_3CN 농도변화에 대한 성분들의 log k' 변화가 비슷하였다.

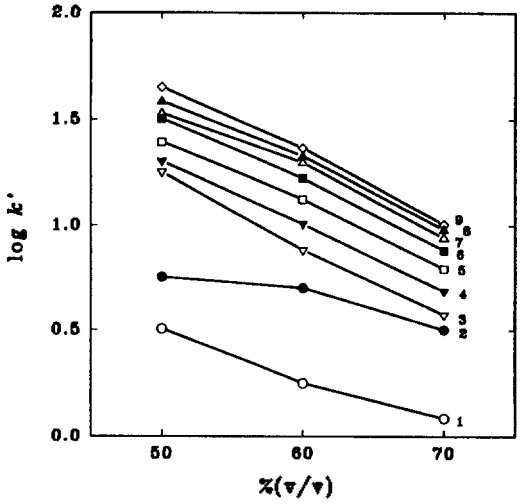

Fig. 4. Effect of CH_3CN percentage on the logk' of Aroclor 1242 components. Peak identification: isomers and homologues; Mobile phase: CH_3CN-H_2O containing 1.0×10^{-4} M p-NP; Column: ODS.

Fig. 5에는 Aroclor 1221이 ODS관에서 용리될 때 용리액 중 CH_3CN 농도가 50%로부터 70%까지 변화될 경우의 크로마토그램을 나타내었는데, 60%일 때가 적당한 분리도를 나타내므로 가장 이상적임을 알 수 있다. 크로마토그램에 어깨가 나타나는 이유는

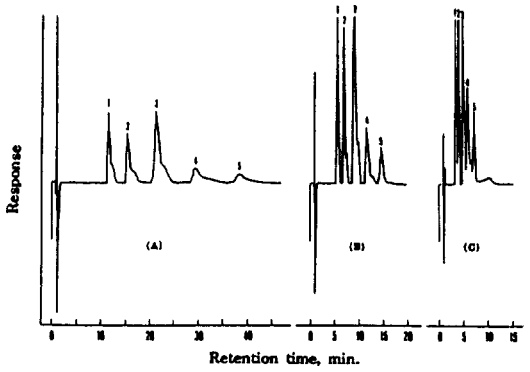

Fig. 5. Chromatograms of Aroclor 1221 on ODS column. Mobile phase: CH_3CN-H_2O(A, 50 : 50; B, 60 : 40; C, 70 : 30) containing 1.0×10^{-4} M *p*-NP.

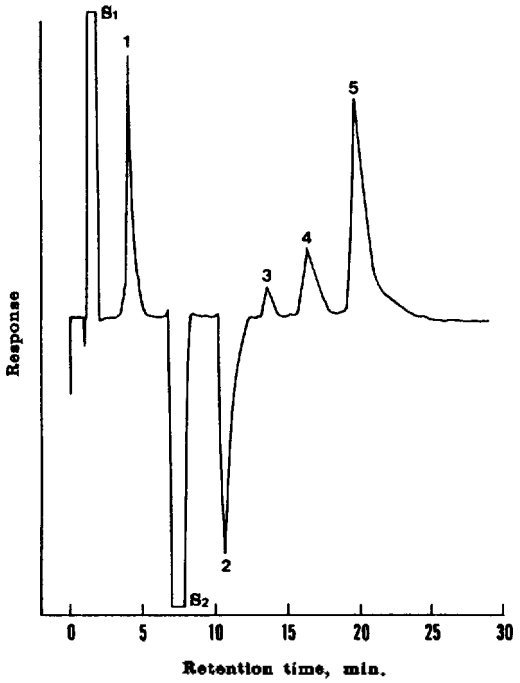

Fig. 6. Separation chromatogram of THMs by ODS column. Peak identification: 1, CH_2Cl_2 (2×10^{-5} g); 2, $CHCl_3$ (1.2×10^{-3} g); 3, $CHBrCl_2$ (1×10^{-4} g); 4, $CHBr_2Cl$ (5×10^{-5} g); 5, $CHBr_3$ (2×10^{-5} g); S1 and S2, system peaks. Mobile phase: MeOH-H_2O (30 : 70) containing 1.0×10^{-4} M *p*-NP; Detection: 254 nm; Flow rate: 1.0 mL/min.

동족체와 이성체가 더 있음을 의미한다. Aroclor들의 GC에서도 이를 확인할 수 있었다.[12] PCB 중 Aroclor들의 검출한계(S/N=3)는 각각 2.0×10^{-6} g였고,

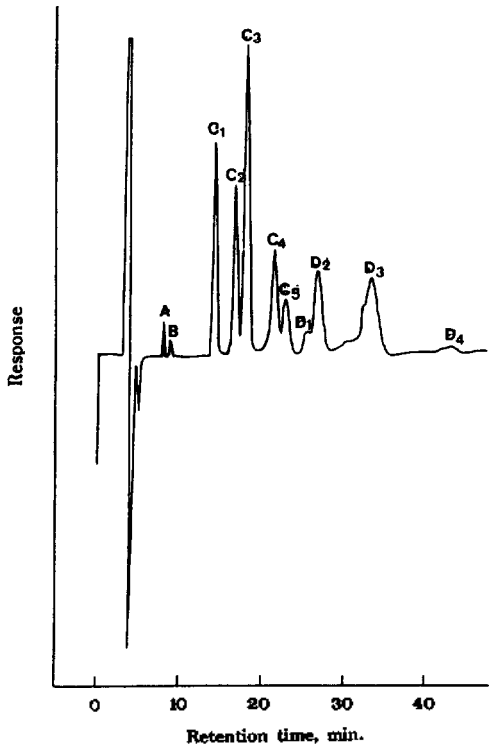

Fig. 7. Separation chromatogram of PCBs by phenyl column. Peak identification: A, α-BHC (2×10^{-5} g); B, β-BHC (2×10^{-5} g); C1~C5, Aroclor 1221 (2×10^{-5} g); D1~D4, Aroclor 1248 (2×10^{-5} g). Mobile phase: CH_3CN-H_2O (50 : 50) containing 1.0×10^{-4} M *p*-NP; Detection: 254 nm; Flow rate: 1.0 mL/min.

α-와 β-BHC는 각각 2.0×10^{-4} g과 1.0×10^{-4} g이었다.

THM과 PCB의 분리. 분리의 최적조건에서 THM과 PCB을 분리하고 그 분리된 크로마토그램들을 각각 *Fig.* 6과 7에 나타내었다. *Fig.* 6은 CH_2Cl_2와 THM을 ODS관으로 분리한 크로마토그램이고, *Fig.* 7은 PCB 중 α- 및 β-BHC와 Aroclor 1221과 1248을 페닐관으로 분리한 크로마토그램이다.

결 론

자외선-가시선 비흡수 물질인 THM과 PCB, α-와 β-BHC는 *p*-NP이 첨가된 용리액을 ODS관과 페닐관으로 용리시켜 용이하게 정량할 수 있었다. THM의 경우 검출한계는 1.0×10^{-6}~1.0×10^{-4} g이었으며, PCB 중 Aroclor는 2.0×10^{-6} g, α-와 β-

BHC는 각각 2.0×10^{-4} g과 1.0×10^{-4} g의 검출한계를 얻을 수 있었다. *p*-NP의 농도 변화에 따라 THM의 k'값은 변화하지 않았으나 감도가 변화함을 발견하였다. 분리의 최적조건은 THM의 경우 ODS 관에서 *p*-NP이 1.0×10^{-4} M되게 용해된 30% MeOH 용액을 용리액으로 사용할 때였고, PCB의 경우는 패널관에서 *p*-NP이 1.0×10^{-4} M되게 용해된 50% CH_3CN 용액을 용리액으로 사용할 때였다.

이 연구는 1994년 한국학술진흥재단의 지방대학 육성과제 연구지원(과제번호: 02D0343)으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

1. Parkin, J. E. *J. Chromatogr.* **1984**, *287*, 457.
2. Parkin, J. E. *Ibid.* **1986**, *351*, 532.
3. Takeuchi, T.; Yeung, E. S. *Ibid.* **1986**, *366*, 145.
4. Banerjee, S. *Anal. Chem.* **1985**, *57*, 2590.
5. Banerjee, S.; Castrogivanni, M. A. *J. Chromatogr.* **1987**, *396*, 169.
6. Gnanasambandan, T.; Freiser, H. *Anal. Chem.* **1981**, *53*, 909.
7. Gnanasambandan, T.; Freiser, H. *Ibid.* **1982**, *54*, 1282.
8. Gnanadambandan, T.; Freiser, H. *Ibid.* **1982**, *54*, 2379.
9. Lee, S. S.; Kang, S. W.; Moon, Y. J. *Anal. Sci. & Tech.* **1991**, *4*(1), 33.
10. Fawell, J. K.; Hunt, S. *Environmental Toxicology*; John Wiley & Sons: New York, 1988; pp 15~39.
11. Nemerow, N. L. *Industrial Water Pollution*; Addison-Wesley Publishing Co., Inc.: Philipines, 1978; pp 618~620.
12. Johanson, H. R.; Becher, G.; Greibrokk, T. *Anal. Chem.* **1994**, *66*(22), 4068.